

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ  
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 53.082

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ИМПУЛЬСНОГО ТЕПЛООВОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЕЩЕСТВО

© 2020 г. А. Н. Котов<sup>а</sup>, К. В. Лукьянов<sup>а</sup>, В. Н. Сафонов<sup>б</sup>,  
А. А. Старостин<sup>а</sup>, В. В. Шангин<sup>а</sup>

Поступила в редакцию 29.05.2020 г.

После доработки 08.06.2020 г.

Принята к публикации 11.06.2020 г.

DOI: 10.31857/S0032816220060117

Устройство предназначено для импульсного теплового тестирования состава и свойств веществ [1, 2]. Тепловое воздействие на исследуемое вещество осуществляется путем импульсного разогрева проволоки из платины или никеля диаметром 20–30 мкм, длиной от 3 до 10 мм.

Нагреватель сопротивлением от 1 до 6 Ом размещен в отверстии на печатной плате размером 15 × 7 × 3 мм. Печатная плата является зондом, погружаемым в исследуемую среду. Время остывания нагревателя в масле составляет несколько миллисекунд. На плате зонда дополнительно размещена микросхема для определения температуры среды с цифровым выходом (рис. 1).

Режим управления нагревом программируется оператором на компьютере и передается по интерфейсу USB в микропроцессорное устройство. Последнее задает ток нагрева и обеспечивает считывание сигнала отклика от проволочного терморезистора, который совмещает функции нагревателя и датчика своей температуры, а также считывание с датчика температуры образца.

Структурная схема микропроцессорного устройства с зондом показана на рис. 2.

Генератор тока  $ГТ$  построен на основе линейного стабилизатора на полевом транзисторе и операционном усилителе  $ОУ$ , сигналом обратной связи которого служит падение напряжения на токоизмерительном резисторе  $R_T$ . Управление блоком  $ГТ$  аналоговое, ток пропорционален входному напряжению управления, которое формируется аналоговым мультиплексором  $АМUX$  и цифроаналоговыми преобразователями  $ЦАП_1$ ,  $ЦАП_2$ .

Комбинацией логических состояний на адресных линиях  $АМUX$  задается выбор между тремя напряжениями управления: выход  $ЦАП_1$ , выход  $ЦАП_2$ , нулевое напряжение. Подача нулевого напряжения выключает  $ГТ$  и позволяет избежать переходных процессов на этапе загрузки новых значений  $ЦАП$ .

Для выполнения двухимпульсного нагрева [3] требуется обеспечить снижение тока в момент достижения заданной температуры нагревателя на первом импульсе нагрева. С этой целью на выходе  $ЦАП_3$  формируется опорное напряжение, соответствующее значению напряжения на выходе  $ОУ_2$  в момент переключения. Блок компаратора  $К$  с защелкой сравнивает уровни напряжений с  $ЦАП_3$  и с выхода  $ОУ_2$  и формирует сигнал управления  $D2 АМUX$  для переключения напряжения управления  $ГТ$ . Микроконтроллер  $МК$  осуществляет предварительную обработку данных, полученных от  $АЦП$ : вычисляет начальное сопротивление нагревателя и рассчитывает кривые изменения сопротивления от времени для первого и второго импульсов.

Исследования веществ с различными теплофизическими свойствами требуют различных режимов нагрева. Для образцов с низкими темпера-

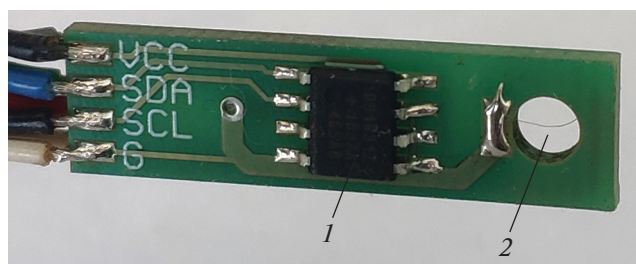
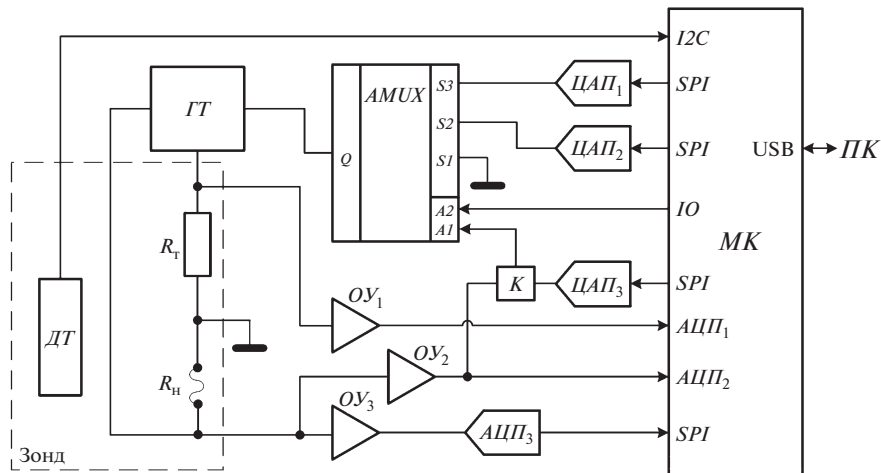


Рис. 1. Внешний вид печатной платы зонда. 1 – датчик средней температуры образца, 2 – проволочный нагреватель  $R_H$ .

<sup>а</sup>ФГБУН Институт теплофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

<sup>б</sup>ООО НВФ “ТермоЭкспрессКонтроль”, г. Екатеринбург, Россия



**Рис. 2.** Микропроцессорное устройство нагрева с зондом. МК – микроконтроллер STM32F205; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь; АМУХ – аналоговый мультиплексор; ГТ – генератор тока;  $R_t$  – токоизмерительное сопротивление;  $R_n$  – терморезистор-нагреватель; ОУ – операционный усилитель; К – компаратор; ДТ – датчик температуры; ПК – персональный компьютер.

турой кипения и теплопроводностью применяются низкие напряжения на нагревателе, что требует от измерительного канала высокой чувствительности. Напротив, для образцов с высокими температурой кипения и теплопроводностью, а также при применении проволочных нагревателей с повышенным сопротивлением необходимо иметь достаточный динамический диапазон измерительного тракта.

В связи с этим выбрана двухканальная схема измерения падения напряжения на сопротивлении нагревателя  $R_n$  через усилители  $ОУ_2$  и  $ОУ_3$  с разными коэффициентами передачи [4].

Канал  $ОУ_2 + АЦП_2$  служит для записи процесса разогрева нагревателя токами до 5 А с длительностью порядка сотен микросекунд. Применен 12-разрядный АЦП, встроенный в МК, с временем выборки 500 нс, что образует “грубый” быстродействующий канал с широким динамическим диапазоном. Связка  $ОУ_3 + АЦП_3$  образует “точный” канал, построенный на 16-разрядном АЦП AD7685, с временем выборки 4 мкс. Данный канал используется для записи миллисекундных процессов второго импульса нагрева на токах до 0.7 А.

На время подачи импульсов тока и в процессе цикла измерений питание схемы осуществляется от емкостных накопителей, импульсные преобразователи питания в устройстве временно отключаются.

**Основные технические характеристики.** Устройство позволяет в заданном режиме управлять процессом нагрева с микросекундным разрешением при длительности импульса 0.1–100 мс. Зонд подключается с помощью кабеля длиной до 2 м. Средний уровень шума измерительного канала вто-

рого импульса в частотном диапазоне до 200 кГц составляет около 0.3 мВ, что обеспечивает разрешение 0.5 К для температуры нагревателя. На основе представленного устройства разработан прибор определения влагосодержания в промышленных маслах в диапазоне 5–100 ppm [5].

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа поддержана Российским научным фондом, проект 19-19-00115.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Skripov P.V., Starostin A.A., Volosnikov D.V., Zhelezny V.P. // Int. J. Refrigeration. 2003. V. 26. № 6. P. 721.
2. Васильев С.П., Волосников Д.В., Скрипов П.В., Старостин А.А., Шишкин А.В. // ПТЭ. 2004. № 4. С. 130.
3. Lukynov K.V., Starostin A.A., Skripov P.V. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. V. 106. P. 657.
4. Старостин А.А., Сафонов В.Н., Скрипов П.В., Лукьянов К.В., Котов А.Н. Патент РФ RU 2699241 C1 // Бюл. № 25. Оpubл. 04.09.2019.
5. Старостин А.А., Шангин В.В., Бухман В.Г., Волосников Д.В., Скрипов П.В. // Теплоэнергетика. 2016. № 8. С. 18.

Адреса для справок:

1. Россия, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 107а, Институт теплофизики УрО РАН, Котов Артем Николаевич, e-mail: artem625@mail.ru, astar2006@mail.ru
2. Россия, 620142, Екатеринбург, ул. Белинского, 132-265, ООО НВФ “ТермоЭкспрессКонтроль”, Сафонов Виктор Николаевич, e-mail: termoek@mail.ru